

© SPCCO / IPO

PN - JP10010044 A 19980116  
 PD - 1998-01-16  
 PR - JP19980178705 19960620  
 OPD - 1998-08-20  
 TI - GAS CONCENTRATION MEASURING METHOD BY MULTIPLE WAVE LENGTH LIGHT  
 IN - GOTO NAOHIKO  
 PA - CENTRAL RES INST ELECT  
 IC - G01N21/49

© WPI / DERWENT

TI - Differential absorption laser radar measurement method for estimating gas density in atmospheric air - involves radiating light having components with different wavelengths and determining gas density based on number of photons of reflected light

PR - JP19980178705 19960620

PN - JP10010044 A 19980116 DW199813 G01N21/49 006pp

PA - (DENY) DENRYOKU CHUO KENKYUSHO

IC - G01N21/49

AB - J10010044 The method involves radiating light into atmospheric air whose gas density is to be determined. The light consists of components with four different wavelength. The four components are divided into two sets. One set as two components with wavelengths which are easily absorbed and the other set has two components which are not easily absorbed by atmospheric air.

- The four components are selected such that the diffusion coefficient of the two components which are easily absorbed, is equal to the diffusion coefficient of the two components which are not easily absorbed. Two sets of reflected light from atmospheric air are received and analysed. The gas density is determined based on the number of photons in the reflected light.
- ADVANTAGE - Improves measurement accuracy. Shortens measuring time.
- (Dwg. 1/2)

OPD - 1998-08-20

AN - 1998-134137 [13]

© PAJ1.PQ

PN - JP10010044 A 19980116  
 PD - 1998-01-16  
 AP - JP19980178705 19960620  
 IN - GOTO NAOHIKO  
 PA - CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER IND  
 TI - GAS CONCENTRATION MEASURING METHOD BY MULTIPLE WAVE LENGTH LIGHT  
 AB - PROBLEM TO BE SOLVED: To improve measuring accuracy, and shorten measuring time even when the absorption of light by gas being an error around measuring object gas is particularly large.

- SOLUTION: In a gas concentration measuring method using a difference absorption

Best Available Copy

laser radar(DIAL) measuring method, four wave lengths which are two wave lengths of easily absorbable different wave lengths and two wave lengths of hardly absorbable different wave lengths, are respectively selected to measuring object gas so that the sum of an extinction coefficient to measuring error object gas having the easily absorbable two wave lengths and the sum of an extinction coefficient to measuring error object gas having the hardly absorbable two wave lengths become equal to each other. The light having the easily absorbable two wave lengths is used as a single set, and the light having the hardly absorbable two wave lengths is used as a single set, and they are respectively irradiated to the measuring object gas, and the reflected light of the irradiated two sets is respectively received, and the gas concentration is measured on the basis of the photon number of the reflected light.

I - G01N21/49

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-10044

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 N 21/49

特許記号

特許整理番号

P I

G 0 1 N 21/49

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 P D (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平9-178705

(22) 出願日

平成8年(1996) 6月20日

(71) 出願人

000173809

財団法人電力中央研究所

東京都千代田区大塚町1丁目6番1号

(72) 発明者

後藤 直彦

東京都柏市岩戸北2-11-1 財団法人

電力中央研究所 荏江研究所内

(74) 代理人

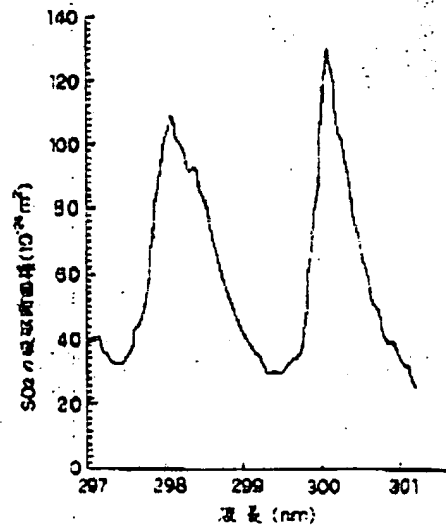
弁護士 大塚 孝

(54) 【発明の名称】 多波長光によるガス濃度計測方法

(57) 【要約】

【課題】従来の多波長を用いるDIAL計測法は、2波長の場合には誤差が生じ、3波長以上の場合は測定に長時間を要するなどの問題があった。

【解決手段】差分吸収レーザーレーダー(DIAL)計測法を用いるガス濃度計測方法において、測定対象ガスに対して、吸収され易い異なる波長の2波長と、吸収され難い異なる波長の2波長であって、かつ前記吸収され易い2波長の測定対象ガスに対する消散係数の和と前記吸収され難い2波長の測定対象ガスに対する消散係数の和とが等しくなるように4波長をそれぞれ選定し、前記吸収され易い2波長の光を1組とし、前記吸収され難い2波長の光を1組としてそれぞれ前記測定対象ガスに照射し、該照射された2組の反射光をそれぞれ受光し、該反射光の光子数に基づいてガス濃度を計測する多波長光によるガス濃度計測方法。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 大気中の各種測定対象ガスに、吸収され易い波長の光と吸収され難い波長の光を照射し、それぞれの照射光の大気からの後方散乱光（反射光）を望遠鏡で受光して測定する差分吸収レーザーレーダー（DIAL）計測法を用いるガス濃度計測方法において、測定対象ガスに対して、吸収され易い異なる波長の2波長と、吸収され難い異なる波長の2波長であって、かつ前記吸収され易い2波長の測定誤差対象ガスに対する消散係数の和と前記吸収され難い2波長の測定誤差対象ガスに対する消散係数の和とが等しくなるように4波長をそれぞれ選定し、前記吸収され易い2波長の光を1組とし、前記吸収され難い2波長の光を1組としてそれぞれ前記測定対象ガスに照射し、該照射された2組の反射光をそれぞれ受光し、該反射光の光子数に基づいてガス濃度を計測することを特徴とする多波長光によるガス濃度計測方法。

【請求項2】 前記吸収され易い異なる波長の2波長又は吸収され難い異なる波長の2波長のうちのいずれか一方の波長を1波長として、当該波長のデータの演算時に2倍にして2波長分データとして処理するようにした請求項1記載の多波長光によるガス濃度計測方法。

【請求項3】 前記吸収され易い波長及び吸収され難い波長をそれぞれ異なる波長の3波長以上をとしてデータ解析処理するようにした請求項1記載の多波長光による

## ガス濃度計測方法。

【請求項4】 前記吸収され易い多波長又は吸収され難い多波長の各波長の照射強度を、前記各波長の受信される光子数の比率にもとづいて調整するようにした請求項1乃至3記載の多波長光によるガス濃度計測方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多波長光により大気中のガス（原子、分子、エアロゾル等）濃度を計測する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】大気中のガス濃度を測定する方法として、例えば図1に示すように、単体又は複数の多波長光照射装置1から多波長の光2を順次に計測対象ガス3に照射し、その多波長の光を受光装置4により受光し、データ解析装置5により計測対象ガス3の構成成分の濃度計測を行う方法がある。この多波長光を用いる従来の計測方法であるレーザーレーダーは、計測対象ガスにより吸収され易い（吸収の大きい）波長と、吸収され難い（吸収の小さい）波長の2波長を用いた差分吸収レーザー（DIAL）計測法が用いられている。また、さらに精度を高めるために、3つ以上の多波長を用いる測定方法がある。この従来の2波長を用いたDIAL計測法における受信光子数は、式1で現される。

【0003】

【数1】

$$N_r = N_i \cdot n \Delta R S_a \left( \frac{A}{R^2} \exp \left( -2 \int_0^R S_a(r) dr \right) \right) \quad (1)$$

ここで、 $N_r$ は受信光子数、 $N_i$ は照射光子数、 $n$ は光子系効率、 $\Delta R$ は距離分解能、 $S_a$ は後方散乱係数、 $A$ は受光面積、 $R$ は測定距離、 $\int_0^R S_a(r) dr$ は散乱係数である。このDIAL計測法では、式1を2波長について記述し、その差を求めることにより表される。そこで、測定したいガス濃度 $n(R)$ 及び吸収断面積 $\sigma_a$ により、 $N_a$

$\sigma_a = n(R)$ と表され、2つの波長に対してそれぞれ異なる場合、一般的なDIAL計測法の式として、次の式2で表される。

【0004】

【数2】

$$n(R) = \frac{1}{2(\sigma_{a1} - \sigma_{a2}) \Delta R} \left[ \ln \left( \frac{N_{a1} R}{N_{a2} (R + \Delta R)} \right) - \ln \left( \frac{N_{a2} R}{N_{a1} (R + \Delta R)} \right) \right] \quad (2)$$

$\sigma_{a1}$ と $\sigma_{a2}$ は、それぞれ、吸収の大きい波長と吸収の小さい波長に対する吸収断面積である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この式2の場合、前提条件として測定対象ガス以外のガスによる吸収や散乱の影響が、2つの波長に対して同じであると見做せる場合に限定されるものである。即ち、2波長での消散係数 $\sigma_a$ が測定対象ガスのみで異なる場合に成り立つものであり、他のガスの影響がある場合に成り立たないのである。そして、測定対象ガス以外のガスに対して、消散係数 $\sigma_a$ が同じ2波長を選ぶことは困難な場合が多く、2波長を用いるDIAL計測法では、測定対

象となるガス以外の消散係数（吸収断面積）が等しくなる場合は、誤差があるため測定精度が悪いという問題がある。また、3つ以上の多波長を用いる測定は、用いる波長の数に応じた回数の測定を必要とし、計測に長時間を必要とする問題があった。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明による多波長光によるガス濃度計測方法は、大気中の各種測定対象ガスに、吸収され易い波長の光と吸収され難い波長の光を照射し、それぞれの照射光の大気からの後方散乱光（反射光）を望遠鏡で受光して測定する差分吸収レーザーレーダー（DIAL）計測法を用いるガス濃度計測方法にお

いて、測定対象ガスに対して、吸収され易い異なる波長の2波長と、吸収され難い異なる波長の2波長であつて、かつ前記吸収され易い2波長の測定誤差対象ガスに対する消散係数の和と前記吸収され難い2波長の測定誤差対象ガスに対する消散係数の和とが等しくなるように4波長をそれぞれ選定し、前記吸収され易い2波長の光を1組とし、前記吸収され難い2波長の光を1組としてそれぞれ前記測定対象ガスに照射し、該照射された2組の反射光をそれぞれ受光し、該反射光の光子数に基づいてガス濃度を計測することを特徴とするものである。  
【0007】

【発明の実施の形態】本発明を、4波長を用いた例について説明する。この4波長のうち2波長は測定対象ガスに吸収され易い波長で、他の2波長は測定対象ガスに吸収され難い波長を選定する。また、式1において、消散係数 $\sigma$ のみが4波長で異なるものとする。そして、測定対象ガスに吸収され易い2波長での消散係数をそれぞれ $\beta_{on1}$ 、 $\beta_{on2}$ 、また測定対象ガスに吸収され難い2

波長での消散係数をそれぞれ $\beta_{off1}$ 、 $\beta_{off2}$ とする。そして、測定対象ガスを $x$ 、誤差となるガスを $y$ とする。各4波長の消散係数は式3で表される。

【0008】

【数3】

$$\beta_i = \beta_i' + \beta_i''$$

$$= \sigma_i n(R) + \beta_i''$$

(3)

( $i = on1, on2, off1, off2$ )

$\sigma_i$ はそれぞれの波長に対する吸収断面積である。それぞれの波長での式1を記述して、よく吸収する2波長( $on$ )での式から、吸収しにくい2波長( $off$ )の2式を引くと、次の式4が導かれる。

【0009】

【数4】

$$n(R) = \frac{1}{2(\sigma_{on1} + \sigma_{on2} - \sigma_{off1} - \sigma_{off2}) \Delta R} \times \left[ \ln \left( \frac{N_{on1}(R)}{N_{on1}(R+\Delta R)} \frac{N_{on2}(R)}{N_{on2}(R+\Delta R)} \frac{N_{off1}(R+\Delta R)}{N_{off1}(R)} \frac{N_{off2}(R+\Delta R)}{N_{off2}(R)} \right) - 2 \left( \beta_{on1}' - \beta_{on2}' - \beta_{off1}' - \beta_{off2}' \right) \Delta R \right] \quad (4)$$

ここで、式4の

【数5】

$$\beta_{on1}' + \beta_{on2}' - \beta_{off1}' - \beta_{off2}' = 0 \quad (5)$$

$$n(R) = \frac{1}{2(\sigma_{on1} + \sigma_{on2} - \sigma_{off1} - \sigma_{off2}) \Delta R}$$

$$\ln \left( \frac{N_{on1}(R)}{N_{on1}(R+\Delta R)} \frac{N_{on2}(R)}{N_{on2}(R+\Delta R)} \frac{N_{off1}(R+\Delta R)}{N_{off1}(R)} \frac{N_{off2}(R+\Delta R)}{N_{off2}(R)} \right) \quad (6)$$

となり、誤差となる測定対象ガス以外のガスの影響が含まれない式となる。

【0010】ここで、

【数7】

$$N_{on1}(R) + N_{on2}(R) = N_{on}(R) \quad (7)$$

$$N_{on1}(R) = \frac{N_{on}(R)}{2} + \Delta N_{on}(R) \quad (8)$$

$$N_{on2}(R) = \frac{N_{on}(R)}{2} - \Delta N_{on}(R) \quad (9)$$

であるような波長を選択すると、式4は次の式6

【数6】

とする。式6の項

【数8】

$$\frac{N_{on1}(R)}{N_{on1}(R+\Delta R)} \frac{N_{on2}(R)}{N_{on2}(R+\Delta R)} \quad (10)$$

(2、

【0011】

【数9】

$$\begin{aligned}
 & \frac{N_{\text{on}}(R)}{N_{\text{on}}(R+\Delta R)} \cdot \frac{N_{\text{off}}(R)}{N_{\text{off}}(R+\Delta R)} \\
 &= \frac{[N_{\text{on}}(R)/2 + \Delta N_{\text{on}}(R)] [N_{\text{off}}(R)/2 - \Delta N_{\text{off}}(R)]}{[N_{\text{on}}(R+\Delta R)/2 + \Delta N_{\text{on}}(R+\Delta R)] [N_{\text{off}}(R+\Delta R)/2 - \Delta N_{\text{off}}(R+\Delta R)]} \\
 &= \frac{[N_{\text{on}}(R)/2]^2 + [\Delta N_{\text{on}}(R)]^2}{[N_{\text{on}}(R+\Delta R)/2]^2 + [\Delta N_{\text{on}}(R+\Delta R)]^2} \\
 &\sim \frac{[N_{\text{on}}(R)]^2}{[N_{\text{on}}(R+\Delta R)]^2} \quad \text{【数10】}
 \end{aligned}$$

となる。

【0012】同様に、式6の項の

$$\frac{N_{\text{on}}(R+\Delta R)}{N_{\text{on}}(R)} \cdot \frac{N_{\text{off}}(R+\Delta R)}{N_{\text{off}}(R)} \quad \text{【数11】}$$

は、次の式13に変換できる。

$$\frac{N_{\text{on}}(R+\Delta R)}{N_{\text{on}}(R)} \cdot \frac{N_{\text{off}}(R+\Delta R)}{N_{\text{off}}(R)} \sim \frac{[N_{\text{on}}(R+\Delta R)]^2}{[N_{\text{on}}(R)]^2} \quad \text{【数12】}$$

【0013】ただし、前述の式11及び式13は、次の式14又は式15を条件とする。

【数14】

$$\Delta N_{\text{on}}(R) < \frac{N_{\text{on}}(R)}{2} \quad \text{【数15】}$$

$$\Delta N_{\text{off}}(R) < \frac{N_{\text{off}}(R)}{2} \quad \text{【数16】}$$

$$n(R) \sim \frac{1}{2(\sigma_{\text{on}} - \sigma_{\text{off}} - \sigma_{\text{scat}} - \sigma_{\text{abs}}) \Delta R} \ln \left( \frac{[N_{\text{on}}(R)]^2}{[N_{\text{on}}(R+\Delta R)]^2} \cdot \frac{[N_{\text{off}}(R+\Delta R)]^2}{[N_{\text{off}}(R)]^2} \right) \quad \text{【数17】}$$

即ち、測定は、4波長すべてを計測する必要がなく、on (on1, on2) と off (off1, off2) の2波長づつまとめて計測することができるので、2波長を用いたDA計測法と同じ時間で計測することが可能である。なお、前述の式14と式15は、式16に示すガス濃度n (R)の精度を高める条件を示すもので、式14と式15の左辺が小さくなるように、波長に対する照射光の強度を制御することにより、測定精度を向上させることが可能である。

【0014】

【実施例】測定対象ガスをSO<sub>2</sub> (二酸化硫黄) とし、前述計算式16に、図1に示す公知の特性データに基づく表1に示した数値(各波長におけるSO<sub>2</sub>の吸収断面積)と、表1のデータに基づいて算出された表2に示した受光子数を、式6および式16に当てはめて

計算した例を示す。なお、エアロゾルの消光係数を、0.00mで2.0×10<sup>-4</sup>m<sup>-1</sup>とし、エアロゾルによる光の消光がレイリー散乱によると仮定し、1-λ<sup>-4</sup>に比例するとする。SO<sub>2</sub>の密度は、図1に示した吸収断面積の特性、及び温度15℃、1atm、単位1ppmでは、n=2.53×10<sup>16</sup>m<sup>-3</sup>であることにより、吸収の大きい波長を300nm (on1) と280nm (on2)、吸収の小さい波長を290nm (off1, off2) の3つの波長で計算を行う。ここで、

【数18】

$$N_{\text{ph}} \cdot A = 3 \times 10^8 \text{ (n)} \quad \text{【数19】}$$

と仮定する。(光出力10W、受光面直径の直径50mm、拡散乱係数1.0×10<sup>-4</sup>m<sup>-1</sup>、光学的効率0.01に相当) また、測定距離Rを3km、距離分解能ΔRを100mとする。

【0015】

【表1】

$\lambda$	$SO_2$		エアロゾル 消散係数	全 消散係数
	吸収断面積	消散係数		
300.0nm	$130.6 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$8.36 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$	$2.000 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$	$2.039 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$
330.3nm	$29.0 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$7.39 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$	$1.019 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$	$2.026 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$
338.6nm	$70.0 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$1.78 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$	$2.039 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$	$2.039 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$

このときの吸収される光子数を表2に示す。

【表2】

【0016】

波長	3000 mからの光子数	3100 mからの光子数
on	9843	8851
off	9834	8899
on	8708	8726

以上により、式11の左辺と右辺はともに有効数字が3桁以内で1.237となり、また式13の左辺と右辺はともに有効数字が3桁以内で0.808となり一致する。この条件で、式6の従来の多波長によるDIAL計測法で全4波長を計測し、密度を算出すると $3.35 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$ となるが、本発明の方法で密度を算出した場合においても、その計測値は $3.34 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$ となり、2桁の精度で正しく、誤差は無視できる程度のものである。なお、この実施例では便宜上吸収され強い波長は1波長として示したが、前記の式4の条件等を満たす波長の異なる2波長を用いて、全4波長で計測できることは当然である。また、吸収され強い波長を2波長とし、吸収され弱い波長を1波長として3波長を用いて計測してもよい。また、式8に表2の計算データを入れて $\Delta N_{30}$ を求めると、 $\Delta N_{30} = N_{30,1} - N_{30,2} = 67.3$ となるが、338.6 nmの照射強度を300.0 nmのそれより、 $9843/9708 = 1.0139$ 倍にすることにより、 $N_{30,1}$ と $N_{30,2}$ が98とほぼ等しくなり、 $\Delta N_{30}$ はほとんど0となり、計算されるガス濃度 $n$ (R)は、近似式を用いるために生じる誤差はなくなる。

【0017】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明は所要の条件に適合する異なる波長の3波長又は4波長を、

測定対象ガスに吸収され弱い波長と吸収され強い波長の2組に分けて順次に測定対象ガスに照射して、その強度又は単波長の波長の反射信号をそれぞれ受信してそのデータに基づき演算処理するものであるため、特に測定対象ガス周辺の誤差となるガスによる光の吸収が大きい場合には、従来の2波長によるDIAL計測法に比較して、測定精度の向上を図ることができる。また、従来の精度向上を図るための3波長以上の多波長によるDIAL計測法に比較して、測定時間を短縮することができ、過渡現象の測定も可能となるなどの効果を奏するものである。

【図面の簡単な説明】

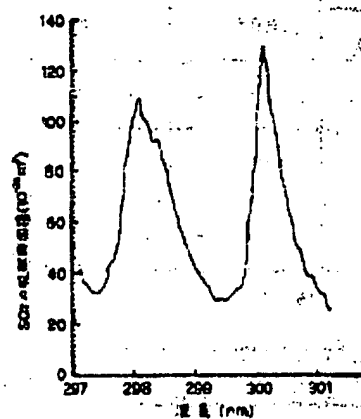
【図1】本発明の一実施例の測定対象ガス $SO_2$ の波長吸収断面積の特性図である。

【図2】本発明の対象とするDIAL計測方法の測定情報略図である。

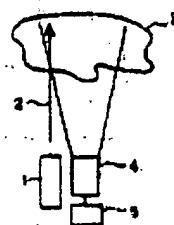
【符号の説明】

- 1 多波長光照射装置
- 2 多波長の光
- 3 測定対象ガス
- 4 受光装置
- 5 データ解析装置

〔図1〕



〔図2〕





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**